

**Performance Analysis and Simulation
of MC-CDMA over Different Models
of Multipath Fading Channels**

Mohammed Ali Alshehri

**FACULTY OF ENGINEERING
KING ABDULLAZIZ UNVIVERSITY- JADDAH
RAMADAN 1427 H – OCTOBER 2006**

تحليل أداء ومحاكاة MC-CDMA لعدة
نماذج من قنوات
الخفوت متعدد المسارات

محمد علي الشهري

كلية الهندسة
جامعة الملك عبدالعزيز - جدة
رمضان ١٤٢٧ هـ - أكتوبر ٢٠٠٦

تحليل أداء ومحاكاة MC-CDMA لعدة نماذج من قنوات الخفوت متعدد المسارات

محمد علي الشهري

المستخلص

الميزة المشتركة للأجيال القادمة من تقنية الاتصالات اللاسلكية هي التقارب بين خدمات الوسائط المتعددة مثل الاتصالات الصوتية و الصورة و الفيديو والمعلومات. وهذا يتطلب من منصات العمل اللاسلكية أن تضمن سرعات عالية لانتقال المعلومات .

اكتسب حديثا نظام (تعدد تقسيم التردد العمودي) OFDM الكثير من اهتمام الباحثين وهو مرشحا بقوة للجيل الرابع في نظام الاتصالات اللاسلكية وذلك بسبب خاصيته في نقل البيانات بسرعات عالية تبدأ من ١٠ ميجابت/ثانية. يعتبر (تعدد النواقل- الدخول المتعدد بتقسيم الشفرة) MC-CDMA احد تقنيات OFDM حيث يتم نشر رموز المعلومات بواسطة شفرة نشر في النطاق الترددي .من أهم خصائص هذا النظام مقاومته الجيدة لظاهرة الخفوت و التداخل التي تتعرض لها الاتصالات اللاسلكية.

الهدف من هذه الرسالة هو دراسة وتحليل معدل الخطاء في النبضات المرسل عبر نظام MC-CDMA في قناة الربط الهابط لعدة نماذج من قنوات الخفوت المتعدد المسارات و محاكات تلك النماذج بتطوير برنامج الماتلاب لمحاكاة النظام ودراسة تأثيرات مختلف العوامل على أداء قناة الخفوت.

تحليل أداء ومحاكاة MC-CDMA لعدة نماذج من قنوات الخفوت متعدد المسارات

محمد علي الشهري

الملخص

تبرز أهمية الاتصالات اللاسلكية في هذه الألفية الجديدة بالنظر إلى الزيادة السريعة في عدد مشتركى المحمول الذي يتجاوز ٢ مليار مستخدم. هذه الثورة في نظم الاتصالات اللاسلكية لا تقتصر علي انظمه الاتصالات المتنقلة الخلوية مثل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) الفاصل القياسي-٩٥ (IS-95)، (D-AMPS) الرقمي الشخصي المحمول (PDC) و رمز النفاذ المتعدد بالتقسيم ٢٠٠٠ (cdma2000)، بل يشمل أيضا شبكات اللاسلكي المحلية (WLANs) وكذلك بث مثل نظام البث السمعي الرقمي (DAB) وبث الفيديو الرقمي (DVB).

١. نظم الاتصالات المتنقلة: الماضي والحاضر والمستقبل

تطورت نظم الاتصالات الخلوية المتنقلة بصورة متسارعة خلال العقود الثلاثة الماضية.

- **الجيل الأول**، بدأت أنظمة هذا الجيل في الثمانينات من القرن الماضي وكانت تعتمد على التقنية التماثلية باستخدام أسلوب تعديل التردد (FM) وذلك لنقل الصوت. ومن هذه الأنظمة (NAMPS) و (TACS) و (NMT-900).
- **الجيل الثاني**، كانت البداية لهذا الجيل في تسعينات القرن الماضي، من مزايا الجيل الثاني الاستفادة من تقنيات التشفير والضغط المرتبطة بالتكنولوجيا الرقمية وذلك لنقل الصوت والبيانات وبعض التطبيقات الرقمية بسرعة تبدأ من ٦٥ ك.بايت/ثانية. وتعتمد جميع أنظمة تشغيل الجيل الثاني أسلوب التعديل الرقمي

وتستخدم تقنية الدخول المتعدد مثل الدخول المتعدد بتقسيم الوقت (TDMA) والدخول المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA). ومن هذه الأنظمة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) ويمثل حوالي ثلثي المستخدمين حالياً في العالم ، ونظام (IS-95) الذي يستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية، ونظام (PDC) في اليابان.

- **الجيل الثالث**، يعتمد هذا الجيل على تقنية الدخول المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA) ويتميز بسرعة نقل أفضل من الجيل السابق تصل إلى ٢ ميجابت/ثانية مما يمكنه من نقل الصوت والصورة وتطبيقات الوسائط بسرعة عالية وجودة أفضل. ويتميز كذلك بمعدل خطأ للبيانات المستقبلية منخفض وكذلك زيادة عدد المستخدمين. ومن أنظمة هذا الجيل نظام (UMTS) ونظام (IMT-2000).
- **الجيل القادم**، الجيل القادم ويعرف بالجيل الرابع، يتوقع أن يجمع ذلك النظام العديد من المزايا في مختلف الأنظمة السابقة و بشكل أساسي يعمل بتقنية بروتوكول الانترنت (IP) اللاسلكية لتقديم خدمة نقل الصوت والصورة والوسائط بسرعة تصل إلى ١٠٠ ميجابت/ ثانية. ويعتبر تقنية (تعدد النواقل - الدخول المتعدد بتقسيم الشفرة) (MC-CDMA) من الأنظمة المرشحة للجيل الرابع وذلك لعدد من الخصائص لهذه التقنية ومنها مقاومته للخفوت الناتج عن تعدد المسارات لموجات الإرسال وينتج عن ذلك تحسن في معدل الخطأ في البيانات المستلمة.

٢ . خصائص قناة الخفوت متعدد المسار

يتأثر المسار بين محطة الإرسال و الوحدة المتحركة في الاتصالات الأرضية المتحركة بالعوامل الطبيعية والمنشآت الصناعية والمباني. عندما ترسل الموجة اللاسلكية تشع في جميع الاتجاهات وتصل إلى الوحدة المتحركة بطريق مباشرة وغير مباشرة وبما أن طول المسار غير متساوي بين الحالتين فان زمن الوصول والطور مختلف للموجات المستقبلية في الوحدة المتحركة ، وتسمى هذه الحالة ببيئة الإشعاع متعدد المسار ، وفي بعض الأوقات تشدد الإشارة المستقبلية أو تضعف، وتسمى هذه الظاهرة بالخفوت متعدد المسارات، و يؤثر الخفوت على زيادة معدل الخطأ (BER) في الإشارة المستقبلية.

٢ . تقنية (تعدد النواقل - الدخول المتعدد بتقسيم الشفرة) MC-CDMA

تتلخص فكرة نظام تعديل متعدد النواقل بأنه تقنية تعتمد على استخدام نواقل ذات معدل بيانات منخفض وتجمع بمرسلة لتشكيل مركب معدل بيانات مرتفع. الميزة الرئيسية هي أن الإرسال المتوازي يرفع وقت الرمز بواسطة تعديل الرمز إلى عدة قنوات فرعية ضيقة. هذه الزيادة في الوقت تجعل الرمز أكثر مقاومة لتأثيرات تأخير الانتشار في القناة. ويستخدم نظام (تعدد تقسيم التردد العمودي) OFDM طريقة الإرسال المتوازي.

يعتبر نظام (MC-CDMA) مزيج بين نظام (OFDM) ونظام (CDMA) حيث يمكن أن يشترك عدة مستخدمين في نفس النطاق وفي نفس الوقت ويفصل بين البيانات باستخدام رمز نشر معين. تميز هذا النظام بالميزات الحسنة في نظام الدخول المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA). ومن مزاياه التالي:

- مقاومته لتداخل التردد الانتقائي.
- طاقة الإرسال المنخفضة.
- سهولة تصنيع جهاز الاستقبال.
- سهولة انجاز التعديل باستخدام تحويل فوريير السريع (FFT).
- الفعالية العالية في استخدام الطيف.

٣ . محاكات نظام (MC-CDMA)

يصعب في معظم الأحيان عمل نماذج حقيقية للأنظمة الحديثة قيد التطوير وذلك بسبب التكلفة العالية وطول الوقت اللازم لعمل ذلك، ويستخدم أسلوب المحاكاة عوضاً عن ذلك الذي يوفر الكثير من الوقت والتكلفة. في هذه الرسالة تم استخدام برنامج ماتلاب لعمل محاكات لنظام MC-CDMA لعدة نماذج من قنوات الخفوت المتعدد المسارات لتحديد تأثيرات مختلف العوامل على أداء قناة الخفوت.

Performance Analysis and Simulation of MC-CDMA over Different Models of Multipath Fading Channels

Mohammed Ali Alshehri

Abstract

The common feature of the next generation of wireless technology will be the convergence of multimedia services such as speech, audio, video, image, and data. This implies that a future wireless terminal, by guaranteeing high-speed data, will be able to connect to different networks in order to support various services: switched traffic, IP data packets and broadband streaming services such as video.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) has recently gained a lot of attention and is a potential candidate for Fourth Generation (4G) wireless systems because it promises data rates up to 10Mbps. A variation of OFDM is Multi-Carrier CDMA (MC-CDMA) which is an OFDM technique where the individual data symbols are spread using a spreading code in the frequency domain. The spreading code associated with MC-CDMA provides multiple access technique as well as interference suppression.

The aim of this thesis is to study the bit error rate (BER) performance of MC-CDMA in downlink channels over different multipath fading channel models and develop a MATLAB program to simulate this system and study the effect of different system and channel factors on the BER performance.

TABLE OF CONTENTS

	Page
ACKNOWLEDGEMENT	IV
ABSTRACT	V
TABLE OF CONTENTS	VI
LIST OF TABLE	IX
LIST OF FIGURES	X
LIST OF SYMBOLS	XII
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 FIRST GENERATION CELLULAR SYSTEMS	2
1.2 SECOND GENERATION CELLULAR SYSTEMS	3
1.3 THIRD GENRATION MULTIPLE ACCESS SCHEMES	4
1.4 TOWARD 4G SYSTEMS	4
1.5 MULTICARRIER TECHNIQUES FOR 4G SYSTEMS	5
1.6 THESIS OUTLINE	7
CHAPTER II INTRODUCTION TO OFDM AND MC-CDMA	8
2.1 ADVANTAGES OF MULTICARRIER MODULATION	8
2.2 ORTHOGNAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)	10
2.2.1 Advantages and Drawbacks of OFDM	15
2.3 SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES	16
2.4 MULTI-CARRIER SPREAD SPECTRUM	19
2.4.1 MC-CDMA and MC-DS-CDMA	19
2.4.2 Comparisons	22
2.4.3 Examples of Future Application Areas	22
CHAPTER III CHARACTERISTIC OF MULTIPATH FADING CHANNEL	25
3.1 INTRODUCTION	25
3.1.1 Additive White Gaussian Noise Channel Simulator	25

3.1.2	Definitions	25
3.2	DOPPLER SHIFT	26
3.3	FADING CHANNELS	28
3.3.1	Small-Scale and Large-Scale Fading	30
3.3.2	Rayleigh and Rician Fading Channels	31
3.3.3	Nakagami Distribution	36
3.3.4	Multipath Delay Profile	37
3.3.5	Frequency Selective and Frequency Nonselective Fading Channels	38
3.3.6	Spaced -Time Correlation Function	39
3.3.7	Time Selective and Time Nonselective Fading Channels	40
3.3.8	Examples of Multipath Fading Channels	41
3.4	JAKES' CHANNEL MODEL	42
3.4.1	Reference Model	43
3.4.2	Jakes' Modified Model	44
3.4.3	Jakes' Multipath	46
3.4.4	Numerical Results	47
3.4.5	Rician Fading Model	47
3.4.6	Nakagami- m Fading Model	48
3.5	DISCRETE MULTIPATH CHANNEL MODELS	49
CHAPTER IV PERFORMANCE ANALYSIS OF MC-CDMA		53
4.1	INTRODUCTION	53
4.2	CHANNEL MODEL	54
4.3	MC-CDMA TRANSMITTER	55
4.4	MC-CDMA RECEIVER	59
4.5	SINGLE-USER DETECTION	60
4.6	BIT ERROR RATE ANALYSIS	61
4.7	BER OVER RICIAN FADING CHANNELS	63
4.7.1	Channel Model	63
4.7.2	Receiver	65
4.8	BER OVER NAKAGAMI- M FADING CHANNELS	67
4.8.1	Channel Model	67

CHAPTER V MC-CDMA BER SIMULATION AND RESULTS	70
5.1 OVERVIEW	70
5.2 SIMULATION OF MC-CDMA SYSTEM USING MATLAB	70
5.3 NUMERICAL RESULTS	78
5.3.1 Confirmation of the Program Accuracy Compared with Others Reference Results	79
5.3.2 Effect of Channel Estimation Compensation	80
5.3.3 Effect of Doppler Spread Frequency	81
5.3.4 Rician Fading Channel Model	82
5.3.5 Nakagami- <i>m</i> Fading Channel Model	83
5.3.6 Effect of Modulation Scheme	84
CHAPTER VI CONCLUSIONS	85
REFERENCES	86
APPENDEX	92

Chapter I

Introduction

The common feature of the next generation of wireless technology will be the convergence of multimedia services such as speech, audio, video, image, and data. This implies that a future wireless terminal, by guaranteeing high-speed data, will be able to connect to different networks in order to support various services: switched traffic, IP data packets and broadband streaming services such as video.

The rapid increase in the number of wireless mobile terminal subscribers, which currently exceeds 2 billion users throughout the world [1], highlights the importance of wireless communications in this millennium.

The adaptation of wireless technologies to the user's rapidly changing demands has been one of the main drivers of this revolution. Therefore, the worldwide wireless access system is and will continue to be characterized by a heterogeneous multitude of standards and systems. This revolution of wireless communication systems is not limited to cellular mobile telecommunication systems such as Global System for Mobile Communications (GSM), Interim Standard-95 (IS-95), Digital-Advanced Mobile Phone Service (D-AMPS), Personal Digital Cellular (PDC), Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) or Code-Division Multiple Access 2000 (CDMA2000), but also includes wireless local area networks (WLANs), e.g., High Performance Local Area Network (HIPERLAN/2), IEEE 802.11a/b and Bluetooth, and wireless local loops (WLL), e.g., High Performance Metropolitan Area Network (HIPERMAN), High Performance Access (HIPERACCESS), and IEEE 802.16 as well

as broadcast systems such as Digital Audio Broadcasting (DAB) and Digital Video Broadcasting (DVB)[1-13].

1.1 First Generation Cellular Systems

The first generation cellular systems generally employ analog Frequency Modulation (FM) techniques. The Advanced Mobile Phone System (AMPS) is the most notable of the first generation systems. AMPS was developed by the Bell Telephone System. It uses FM technology for voice transmission and digital signaling for control information.

Other first generation systems include: [1-13]

- Narrowband AMPS (NAMPS).
- Total Access Cellular System (TACS).
- Nordic Mobile Telephone System (NMT-900).

All the first generation cellular systems employ Frequency Division Multiple Access (FDMA) with each channel assigned to a unique frequency band within a cluster of cells.

1.2 Second Generation Cellular Systems

The rapid growth in the number of subscribers and the increase of many incompatible first generation systems were the main reason behind the evolution towards second generation cellular systems. Second generation systems take the advantage of compression and coding techniques associated with digital technology. All the second generation systems employ digital modulation schemes. Multiple access techniques like Time Division Multiple Access (TDMA) and Code Division Multiple Access (CDMA) are used along with FDMA in the second generation systems. Second generation cellular systems include:

- United States Digital Cellular (USDC) standards IS-54 and IS-136
- Global System for Mobile communications (GSM)

- Personal Digital Cellular (PDC)
- cdmaOne (CDMA2000)

1.3 Third Generation Multiple Access Schemes

Trends towards more capacity for mobile receivers, new multimedia services, new frequencies and new technologies have motivated the idea of 3G systems. A unique international standard was targeted: Universal/International Mobile Telecommunication System (UMTS/IMT-2000) with realization of a new generation of mobile communications technology for a world in which personal communication services will dominate. The objectives of the third generation standards, namely UMTS and CDMA2000 (IMT-2000)[1-14] went far beyond the second-generation systems, especially with respect to:

- The wide range of multimedia services (speech, audio, image, video, data) and bit rates (up to 2 Mbit/s for indoor and hot spot applications).
- The high quality of service requirements (better speech/image quality, lower bit error rate (BER), higher number of active users).
- Operation in mixed cell scenarios (macro, micro, pico).
- Operation in different environments (indoor / outdoor, business /domestic, cellular/cordless).
- And finally flexibility in frequency (variable bandwidth), data rate (variable) and radio resource management (variable power/channel allocation).

The commonly used multiple access schemes for second and third generation wireless mobile communication systems are based on either Time Division Multiple Access (TDMA), Code Division Multiple Access (CDMA) or the combined access schemes in

conjunction with an additional Frequency Division Multiple Access (FDMA) component.

The recent ITU adopted standards for 3G (UMTS and cdma2000) are both based on CDMA. For UMTS, Code Division Multiple Access-Frequency Division Duplex (CDMA-FDD) mode, which is known as wideband CDMA, employs separate 5 MHz channels for both the uplink and downlink directions. Table 1.1 summarizes the key characteristics of 2G and 3G mobile communication systems.

TABLE 1.1 Main parameters of 2G and 3G Mobile Radio Systems. [1]

Parameter	2G systems		3G systems
	GSM	IS-95	IMT-2000/UMTS (WARC'92 [39])
Carrier frequencies	900 MHz 1800 MHz	850 MHz 1900 MHz	1900 – 1980 MHz 2010 – 2025 MHz 2110 – 2170 MHz
Peak data rate	64 kbit/s	64 kbit/s	2 Mbit/s
Multiple ccess	TDMA	CDMA	CDMA
Services	Voice, low rate data	Voice, low rate data	Voice, data, video

1.4 Toward 4G Systems

According to the Vision Preliminary Draft of New Recommendation (DNR) of ITU-Radiocommunications ITU-R WP8F, there will be a steady and continuous evolution of IMT-2000 to support new applications, products and services. For example, the capacities of some of the IMT-2000 terrestrial radio interfaces are already being extended up to 10 Mbps, and it is anticipated that these will be extended even further, up to approximately 30 Mbps, although these data rates will be limited only under

optimum signal and traffic conditions. For systems beyond 3G [beyond IMT-2000 in the International Telecommunication Union (ITU)], there may be a requirement for a new wireless access technology for the terrestrial component around 2010. This will complement the enhanced IMT-2000 systems and the other radio systems with which there is an interrelationship. It is envisaged that these potential new radio interfaces will support up to approximately 100 Mbps for high mobility and up to approximately 1 Gbps for low mobility such as nomadic/local wireless access by around 2010 [4] [99].

Possible new radio interface components are part of the concept. The different access systems will use already-allocated and identified frequency bands and potential new frequency bands for the new elements. Therefore, no direct interference between different technologies has to be expected. All access systems will be connected to an Internet Protocol (IP)-based network. Discussions are ongoing as to whether there should be a distinction between radio access and core network in the future.

From today's perspective, ITU-R expects the start of system standardization after WRC'07 with respect to identified spectrum bands and an initial deployment of systems beyond IMT-2000 after 2010.

1.5 Multicarrier Techniques for 4G Systems

Figure 1.1 shows the evolution of mobile communications systems. In ITU discussions about 2G systems in the 1980s, two candidates for the radio access technique existed; time division multiple access (TDMA) and CDMA schemes. Finally, the TDMA scheme was adopted as ITU standard. On the other hand, in the discussions about 3G systems in the 1990s, there were also two candidates, the CDMA scheme, which was adopted in the 2G older system, and the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)-based multiple access scheme called band division multiple access (BDMA). CDMA was finally adopted as the standard. If history is repeated, namely, if the radio

access technique that was once not adopted can become a standard in new generation systems, then the OFDM-based technique looks promising as a 4G standard [4].

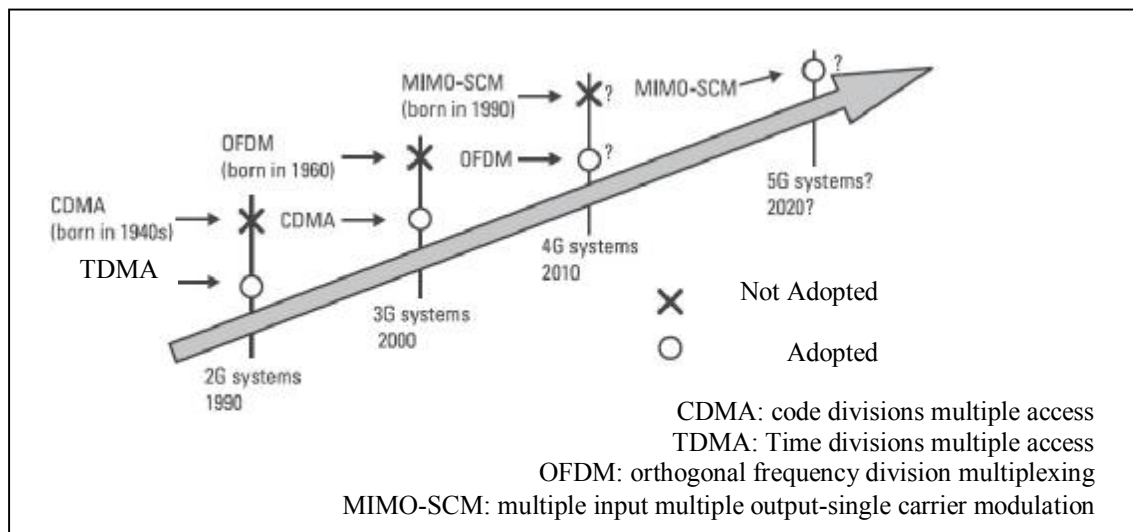


Fig. 1.1 History of mobile communications systems in terms of adopted radio access technique.

The following provides some of justifications: [44]

1. Multicarrier techniques can combat hostile frequency selective fading encountered in mobile communications. The robustness against frequency selective fading is very attractive, especially for high-speed data transmission.
2. OFDM scheme has been well matured through research and development for high-rate wireless LANs and terrestrial digital video broadcasting. A lot of know-how on OFDM were developed.
3. By combining OFDM with CDMA, we can have synergistic effects, such as enhancement of robustness against frequency selective fading and high scalability in data transmission rate.

In this thesis we will study and analysis the performance of MC-CDMA over different multipath fading channel models and simulate these channel models using MATLAB codes.

1.6 Thesis outline

The thesis is organized as follows:

Chapter 2 introduces the background concepts and applications of CDMA, OFDM and MC-CDMA.

Chapter 3 shows the characteristic of radio channels and analysis of multipath fading channels using Rayleigh, Rician and Nakagami- m channel models.

Chapter 4 discusses combination of OFDM and CDMA. One combination is called multicarrier code division multiple access (MC-CDMA) and discusses the system analysis and performance and study the system Bit Error Rate (BER).

Chapter 5 describes the computer simulation of MC-CDMA downlink using MATLAB. Simulations results are presented along with analytical results.

Chapter 6 conclusions.